

Cobre Panamá

Informe Semestral de Restauración Ecológica en el Proyecto Mina de Cobre Panamá

Periodo de octubre 2023 a marzo de 2024

Fecha de Emisión	Revisión	Descripción	Elaborado por:		Revisado y Aprobado por:	
30/05/2024	0	Informe Técnico	Christel Ramos **Botánico de Medio Ambiente**		Blanca Araúz **Superintendente de Medio Ambiente**	



PROYECTO MINA DE COBRE PANAMA

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA)
CATEGORIA III

Informe Semestral de Restauración Ecológica

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13230, 13234 13237, 13240 13252	Octubre 2023 a Marzo 2024	MINERA PANAMA S.A.	30/05/2024

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN 6
2. OBJETIVOS..7
3. MATERIALES Y MÉTODOS 7
3.1. Establecimiento de parcelas de restauración ecológica 7
3.1.1 Parcela Km 2.5 Botija (Código B-PRE-001) 7
3.1.2 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003) 9
3.1.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)..9
3.2. Monitoreo de parcelas de restauración ecológica 11
3.2.1 Parcela 2.5, Botija (Código B-PRE-001)...11
3.2.2 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003) 12
3.2.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)...14
3.3. Mantenimiento de parcelas de restauración ecológica..14
3.4 Ensayos de restauración ecológica 14
3.4.1 Prueba con capa orgánica en DARE, zona suroeste, Tajo Botija (B-PRE-042).........15
3.5. Registro de la Información y Análisis de datos...17
Parcelas de restauración ecológica:...17
Parcelas de restauración con vegetación arbórea..17
Parcelas experimentales...17
Evaluación de especies nativas 17
4. RESULTADOS...19
4.1 Monitoreo de parcelas de restauración ecológica 19
4.1.1 Parcela Km 2.5 Botija (Código B-PRE-001) 19
4.1.2 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003) 21
4.1.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)...25
4.2 Prueba de capa orgánica en zona suroeste, Tajo Botija (B-PRE-042).............................27
4.3 Evaluación de especies nativas..29
5. CONCLUSIONES 31
6. BIBLIOGRAFÍA 32
7. ANEXOS..36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Modelo de la parcela 2.5 demarcada en cuadrantes 20x20 m (cuadro rojo) y 16 sub-cuadrantes de 5x5 m (cuadro azul). Cada cuadrante de 20x20 m se encuentra codificado con sus respectivos números en la parte inferior izquierda (círculo rojo). 7

Figura 02. Diagrama de disposición de plantas sembradas en un cuadrante 20x20 metros en la parcela de restauración ecológica 2.5. Nótese la línea de siembra en forma vertical hacia el Oeste, según la disposición de la parcela. Los círculos representan las plántulas de árboles y los cuadros representan los arbustos, dispuestos en cada línea de siembra a dos metros de distancia...8

Figura 03. Modelo de la parcela de MSA demarcada en cuadrantes 20x20 m y 16 sub-cuadrantes de 5x5 m. 10

Figura 04. Rotulación de plantones utilizando placas de aluminio. Se muestra un ejemplo de la especie *Ochroma pyramidale* (Ochpyr) sembrada y mapeada en la parcela de restauración 2.5 en el año 2015. El código a la derecha indica la ubicación de esta planta en la parcela: cuadrante 0302, en el subcuadrante 2.4. 11

Figura 05. Localización de cámaras trampa en Parcela de restauración Km 18+500 Camino Costero. 13

Figura 06. Mapa de ubicación de ensayo de capa orgánica en parcelas experimentales de DARE, zona suroeste del tajo de Botija. 15

Figura 07. Esquema de cuadrante de capa orgánica de 3x9 metros. 16

Figura 08. Número de individuos sobrevivientes contabilizados durante este periodo de monitoreo. En el gráfico se muestran por año de registro los individuos plantados (P), los de regeneración natural (R), los individuos muertos (barra verde), los individuos monitoreados (barra verde claro) y la totalidad (barra celeste). 19

Figura 09. Sobrevivencia de especies nativas en Parcela Km 2.5 Botija (B-PRE-001). 20

Figura 10. Ortofoto (marzo 2024) de la parcela Km 18 + 500 (B-PRE-003). 22

Figura 11. Vista parcial de la parcela Km 18 + 500. 23

Figura 12. Epífita *Columnea dissimilis* sobre tronco de árbol en parcela Km 18 + 500. 23

Figura 13. Número de individuos sobrevivientes por año de siembra contabilizados durante los monitoreos de 2019 a 2023. 25

Figura 14. Sobrevivencia de especies arbóreas en la parcela de restauración MSA (2019-2023). 26

Figura 15. A. Subcuadrante de control (saprolita) monitoreado en marzo de 2023. B. Subcuadrante de capa orgánica monitoreado en marzo de 2023. C. Subcuadrante de control (saprolita) monitoreado en enero de 2024. D. Subcuadrante de capa orgánica monitoreado en enero de 2024. 27

Figura 16. Especies e individuos vegetales monitoreados en subcuadrantes de capa orgánica y de saprolita (control) en monitoreos realizados de 2023 a 2024. 28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Cámaras trampa en Parcela de restauración Km 18+500 Camino Costero. 13
Tabla 02. Especies de interés de Flora monitoreadas en parcela Km 18+500 (B-PRE-003) 21
Tabla 03. Individuos arbóreos monitoreados en parcela Km 18+500 22
Tabla 04. Especies de fauna registradas en la parcela Km 18+500 Camino Costero 24
Tabla 05. Evaluación de especies nativas resembradas en la parcela de restauración MSA 29

1. INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Las intervenciones que se emplean en la restauración varían mucho de un proyecto a otro, dependiendo de la extensión y la duración de las perturbaciones pasadas, de las condiciones culturales que han transformado el paisaje y de las oportunidades y limitaciones actuales. La meta final del proceso es garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo (SER, 2004).

El éxito de la restauración de un bosque tropical se mide en la recuperación de la biodiversidad, la biomasa y la productividad primaria, la materia orgánica del suelo, la capacidad de almacenamiento del agua y el regreso de las especies raras que son claves para reestablecer la estructura y las funciones del ecosistema (Elliott, Blakesley y Hardwick, 2013).

El proceso de restauración ecológica suele ser muy dinámico e involucra adquirir información necesaria para la toma de decisión y el mejoramiento de metodologías aplicadas en las parcelas experimentales para desarrollar modelos de restauración. Por esta razón es fundamental realizar seguimientos de las especies plantadas en el sitio, que permitan evaluar su desarrollo y evolución en respuesta de las condiciones climáticas y la composición del suelo que se presentan en el lugar, con el fin de garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo.

Minera Panamá S.A., tiene como parte de sus compromisos ambientales la restauración de áreas dentro de la huella del Proyecto, la cual será ejecutada gradualmente durante el período de vida activa de la mina (aprox. 30 años), a medida que se culmine el trabajo del proyecto en áreas específicas.

2. OBJETIVOS

- Cumplir con los compromisos establecidos en el EsIA Cat III, que aseguren el éxito de la restauración del Proyecto Mina de Cobre Panamá.
- Implementar el monitoreo (mortalidad, crecimiento y otros indicadores de las especies) de las parcelas establecidas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Establecimiento de parcelas de restauración ecológica

3.1.1 Parcela Km 2.5 Botija (Código B-PRE-001)

A principios del año 2015 se realizó el establecimiento de la parcela de restauración 2.5, que se encuentra ubicada dentro de la huella de la Mina Cobre Panamá (se nombró así, ya que está localizada en lo que se llamaba botadero del Km 2.5). Esta parcela está ubicada a unos cuantos metros de la garita de entrada (Sierra 1) hacia el área del Campamento Dorado, entre 80̊ 48’58.9” Norte y 80̊ 39’11.2” Oeste (ver Anexos). La parcela mide una hectárea (100x100 metros) y fue demarcada con ayuda de una brújula, tubos PVC y cinta métrica para formar cada una de las subparcelas. La parcela se encuentra orientada hacia el Oeste, según el sistema de coordenadas geográficas, y está conformada por cinco fajas de 20x100 metros, cada una de las cuales contiene cinco cuadrantes de 20x20 metros, los cuales fueron numerados de acuerdo con la coordenada del vértice inferior izquierdo. En cada uno de estos cuadrantes se hicieron 16 subcuadrantes de 5x5 metros (Figura 01).

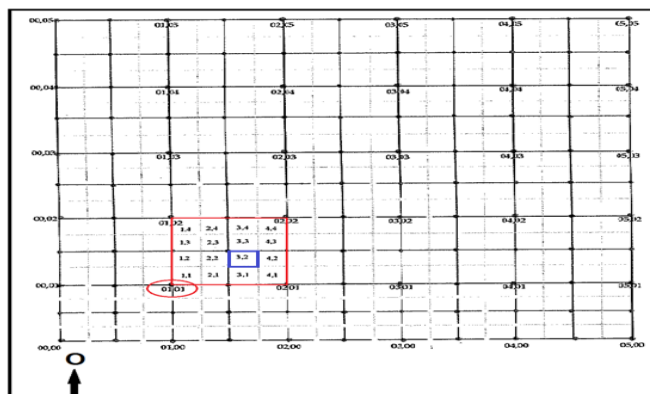


Figura 01. Modelo de la parcela 2.5 demarcada en cuadrantes 20x20 m (cuadro rojo) y 16 sub-cuadrantes de 5x5 m (cuadro azul). Cada cuadrante de 20x20 m se encuentra codificado con sus respectivos números en la parte inferior izquierda (círculo rojo).

El suelo de la parcela está compuesto de material de arcilla roja (saprolita) y rocas, con una inclinación aproximada de 45 grados (fue un depósito de material sobrante de la construcción del

camino hacia el Dorado). El sitio cuenta con barreras de contención y canales de desagüe para evitar la erosión del suelo, de igual manera, fue hidrosembrada con *Brachiaria decumbens* con el mismo propósito inmediatamente el botadero fue terminado. En el año 2014 se inició la restauración de este botadero realizando una primera plantación con especies nativas de *Inga* sp., *Erythrina* sp., *Ficus* sp., *Clusia* sp., y otras especies de las familias Lauraceae y Melastomataceae.

La vegetación que rodea a la parcela comprende mayormente especies heliófitas poco duraderas como *Croton billbergianus*, *Trema michranta*, *Ochroma pyramidale*, *Cecropia* sp., *Isertia haeckeana* e *Isertia laevis*; además de otras especies arbustivas de menor tamaño como *Piper aduncum* y *Piper auritum*. Otras heliófitas de mayor tamaño y más duraderas son *Trichospermum galeottii*, *Vismia macrophylla* y árboles de sombra como son *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea, Inga pezizifera,* entre otras. Todas estas especies que conforman la vegetación que rodea la parcela han sido responsables de la regeneración natural registrada en los monitoreos anuales.

Para la siembra se utilizó un distanciamiento específico de dos metros, esto, para dejar espacio para especies de crecimiento lento y de sotobosque que serán sembradas una vez las especies de crecimiento rápido estén establecidas. Los individuos de diferentes especies fueron sembrados en línea perpendicular a la parcela, a una distancia de dos metros entre cada individuo. Cada línea de siembra también tiene una distancia de dos metros de separación entre ellas (Figura 02). En cada línea, se encuentran sembrados plantones de árboles y arbustos de forma homogénea.

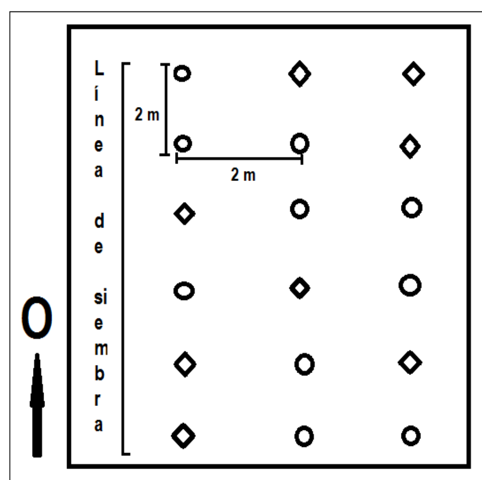


Figura 02. Diagrama de disposición de plantas sembradas en un cuadrante 20x20 metros en la parcela de restauración ecológica 2.5. Nótese la línea de siembra en forma vertical hacia el Oeste, según la disposición de la parcela. Los círculos representan las plántulas de árboles y los cuadros representan los arbustos, dispuestos en cada línea de siembra a dos metros de distancia.

3.1.2 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003)

En el año 2015 fue realizada la siembra de plantones, posterior a la hidrosiembra con *Brachiaria decumbens.* El suelo de la parcela está compuesto de arcilla roja con rocas, y cuenta con barreras de contención y canales de desagüe para evitar la erosión del suelo.

La vegetación remanente que se encuentra detrás de la parcela comprende especies heliófitas como *Ochroma pyramidale*, *Cecropia* sp., *Croton billbergianus*, *Isertia haeckeana*, *Isertia laevis, Piper aduncum, Piper auritum*, *Vismia macrocarpa,* entre otras. La especies herbáceas y rastreras regeneradas registradas en la parcela comprenden *Lycopodiella cernua, Cyperus luzulae, Ludwigia octovalvis* y el helecho *Pityrogramma calomelanos,* entre otras.

Las especies sembradas en esta parcela comprenden especies pioneras (de crecimiento rápido y tolerantes al sol), y también especies de arbustos del sotobosque y árboles (de crecimiento lento). La metodología de siembra consistió en disponer una línea de siembra perpendicular a la parcela, con un distanciamiento de dos (2) metros. En septiembre de 2019 fue realizada una segunda plantación de especies nativas provenientes del vivero, donde se sembraron plantones en el espacio entre cada línea de siembra de los que fueron plantados en 2015. Estas plantas fueron sembradas sin llevar un orden ni distanciamiento específico.

En esta parcela se insertaron diez (10) especies de interés (EdI) del proyecto, entre hierbas, árboles y arbustos tales como: *Synechanthus dasystachys*, *Zamia skinneri, Cassipourea undulata, Posoqueria laevis, Trichodrymonia peltatifolia, Eugenia arrhaphocalyx, Calathea gordonii, Mabea tenorioi* y *Palicourea roseocremea*.

3.1.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)

En noviembre de 2019 se realizó el establecimiento de la parcela de MSA, ubicada en el área del taller de equipos pesados de IIASA, en el área denominada Área de Suministro de Materiales (MSA, por sus siglas en inglés), y diagonal a la garita MSA de entrada al Tajo de Botija; entre los 08°50´55.9” Norte y los 80°39´44.7” Oeste. La parcela, orientada hacia el Noroeste, mide aproximadamente 0.6 hectáreas y está conformada por dos fajas de 20x140 metros, cada una de las cuales contiene siete cuadrantes de 20x20 metros, numerados de acuerdo con la

coordenada del vértice inferior izquierdo. De igual manera, cada uno de estos cuadrantes 20x20 metros están divididos en 16 subcuadrantes de 5x5 metros (Figura 1).

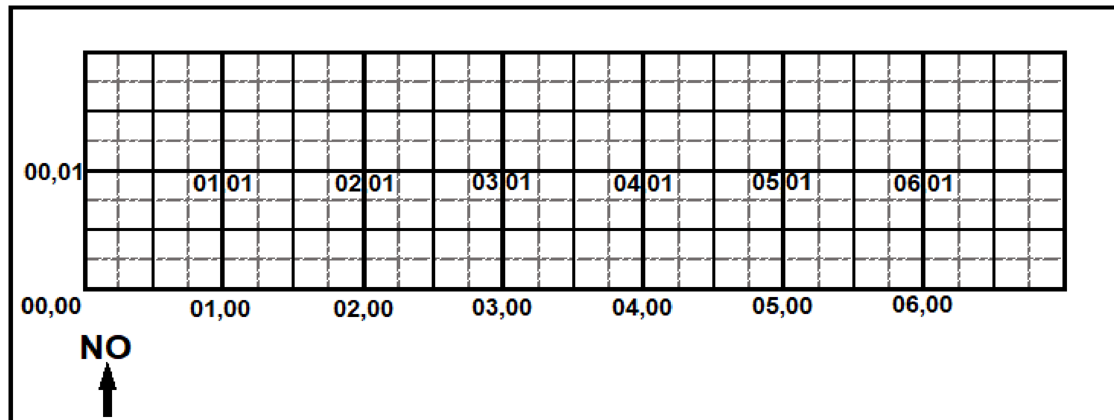


Figura 03. Modelo de la parcela de MSA demarcada en cuadrantes 20x20 m y 16 sub-cuadrantes de 5x5 m.

El suelo de la parcela MSA está compuesto de material de arcilla roja y rocas, con una inclinación aproximada de 20 grados. Como medidas de control de erosión, el sitio fue hidrosembrado con *Brachiaria decumbens*; además se instalaron barreras de contención y canales de desagüe, por parte del personal de Servicios Ambientales.

Previo a la siembra de plantones, el suelo se preparó aplicando una mezcla con hidróxido de calcio (cal hidratada), fertilizante orgánico (compost) y fertilizante químico (12-24-12). Para esto la parcela fue dividida en dos partes iguales, en una de las partes fue añadido 90 libras de compost y en la otra, 10 quintales de fertilizante químico. Para cada aplicación con fertilizante fue añadido 375 kilogramos de cal hidratada. También fue medido el pH del suelo antes y después de haberse realizado la hidrosiembra con los respectivos fertilizantes.

La siembra de plantones se realizó sin un arreglo específico; es decir, que los plantones fueron sembrados de manera que no llevaran una línea ordenada de siembra, ni tampoco con un distanciamiento específico entre plantones. Entre las especies que fueron plantadas en la parcela se encuentran plantas de especies pioneras, y también de árboles y arbustos del sotobosque.

3.2. Monitoreo de parcelas de restauración ecológica

Durante el periodo de octubre 2023 a marzo de 2024 se realizó monitoreo en tres (3) parcelas de restauración de seguimiento anual: parcela del Km 2.5 Botija (B-PRE-001), parcela del Km 18+500 (B-PRE-003), y parcela de MSA (B-PRE-009).

3.2.1 Parcela 2.5, Botija (Código B-PRE-001)

Se realizó el monitoreo en la parcela de restauración 2.5, demarcada en cuadrantes, para determinar variables como la sobrevivencia, salud, altura, diámetro del cuello de raíz y ancho de copa, de aquellas plantas que fueron sembradas desde el año 2015 y aquellas resembradas desde 2016 hasta 2023, que reemplazaron a aquellas plantas que murieron después de ser sembradas en el año del levantamiento de la parcela en 2015. También se registraron las plantas de regeneración natural. El monitoreo de esta parcela se realiza anualmente.

Las plantas que no sobrevivieron al momento de realizar el monitoreo anual, fueron reemplazadas por plantones provenientes del vivero. En áreas de la parcela donde ya se encuentran establecidos árboles de mayor tamaño que fueron sembrados desde el 2015, y que han generado sombra debido a la cobertura en sus copas, se realizó resiembra con plantas de sombra; mientras que en las áreas abiertas se procuró realizar resiembra con plantas de crecimiento rápido. Las plantas muertas fueron contabilizadas y registradas en la base de datos para el posterior cálculo de sobrevivencia.

Las plantas sembradas desde 2015 y aquellas resembradas, fueron rotuladas utilizando placas de aluminio; marcando un código de seis letras en mayúsculas que comprende las tres primeras letras del género y las tres primeras letras de la especie. Además, se registró un código que comprende el número de la planta, el número del cuadrante 20x20 metros y el número del subcuadrante 5x5 metros donde está ubicada dicha planta (Figura 03).

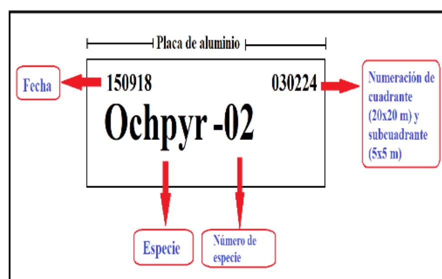


Figura 04. Rotulación de plantones utilizando placas de aluminio. Se muestra un ejemplo de la especie *Ochroma pyramidale* (Ochpyr) sembrada y mapeada en la parcela de restauración 2.5 en el año 2015. El código a la derecha indica la ubicación de esta planta en la parcela: cuadrante 0302, en el subcuadrante 2.4.

3.2.2 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003)

Especies de interés (EdI) de flora reintroducidas

En esta parcela se realiza monitoreo anual desde el 2020 para medir la sobrevivencia y crecimiento de las 10 especies de plantas EdI introducidas en el sitio. Se realizó un mapeo de la parcela que consistió en marcar todas las plantas dentro de los sub-cuadrantes de 5x5 metros, anotando la ubicación en coordenada (eje X, eje Y). Los datos se registraron en formularios diseñados para dicha parcela. Durante el monitoreo se toman datos de crecimiento en altura y diámetro de la planta, estado de salud e información de fenología (si la planta presenta flores y/o frutos). En caso de identificar mortalidad de individuos, se realizó resiembra. Hasta la fecha se han realizado cuatro (4) monitoreos de las plantas de interés en esta parcela.

Monitoreo de la vegetación (densidad, composición y crecimiento arbóreo)

En este informe se incluye el primer monitoreo de la vegetación establecida en esta parcela desde su última resiembra realizada en 2019, con el fin de obtener información de la composición, estructura arbórea, y datos de la diversidad vegetal. El inventario forestal consistió en medir todos los árboles con DAP igual o mayor de 10 cm utilizando cinta diamétrica. Se utilizó un hipsómetro (Nikon Forestry Pro II) para medir la altura de los árboles en metros. Se tomaron coordenadas de cada árbol monitoreado con GPS Garmin 66sr, para cartografiar la distribución de los árboles establecidos en la parcela.

Para obtener información sobre las especies vegetales presentes en la parcela, se anotaron las epífitas observadas, se tomaron además registros fotográficos tanto de las epífitas como de los troncos de cada árbol monitoreado. Posteriormente se procedió a recorrer toda la parcela para identificar aquellas plantas que no fueron registradas en el inventario forestal; es decir: hierbas, arbustos, lianas y árboles menores de 10 cm de DAP. Este monitoreo se realizó del 20 al 21 de febrero de 2024.

Monitoreo de la fauna silvestre

Durante el monitoreo de la vegetación, se registraron las especies de fauna silvestre observadas directamente en la parcela Km 18+500. Cuando fue posible, se tomaron registros fotográficos con una cámara Canon PowerShot SX70 HS.

Tabla 01. Ubicación de cámaras trampa en Parcela de restauración Km 18+500 Camino Costero.

Cámara Trampa	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6
COO E	538110	538088	538092	538109	538119	538117
COO N	984323	984314	984315	984285	984297	984259
Foto						

Al finalizar el monitoreo de vegetación se instalaron 6 cámaras trampa (Tabla 1), con el fin de registrar la fauna que frecuenta esta parcela. Estas cámaras trampa fueron colocadas donde se observaron rastros, huellas de animales y/o árboles en proceso de fructificación. La revisión de cámaras (obtención de registros fotográficos y cambio de baterías) se realiza mensualmente.

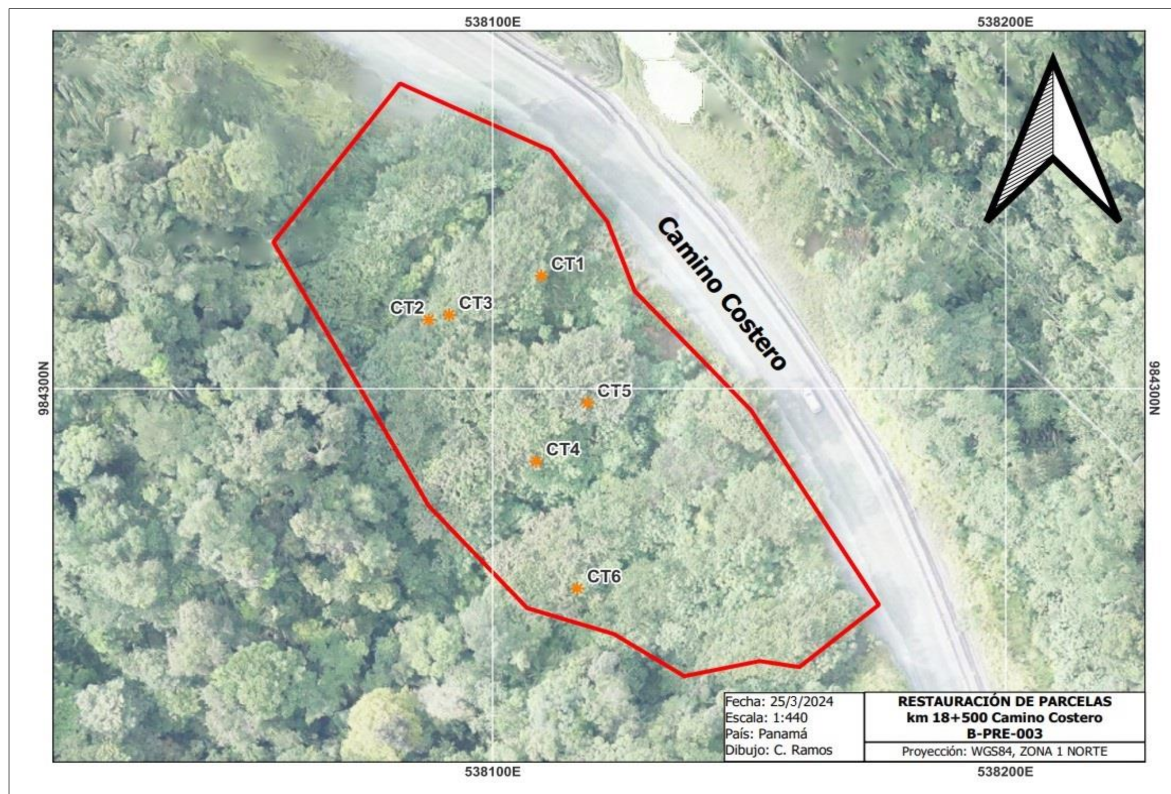


Figura 05. Localización de cámaras trampa en Parcela de restauración Km 18+500 Camino Costero.

3.2.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)

El mapeo de la parcela se realizó desde noviembre de 2019 (después de la demarcación). Dentro de los sub-cuadrantes de 5x5 metros se marcaron todas las plántulas sembradas, y se mapearon todas las plántulas siguiendo una ruta de forma similar a las manecillas de un reloj, a cada plántula se les asignó un eje X e Y.

El monitoreo de los plantones se realizó tomando en cuenta las variables de altura, diámetro del cuello de raíz (DCR), ancho de copa y la salud del plantón. Los monitoreos se realizan anualmente para determinar la sobrevivencia de cada una de las especies plantadas.

Las plantas fueron rotuladas de igual manera utilizando placas de aluminio; marcando un código de seis letras en mayúsculas que comprende las tres primeras letras del género y las tres primeras letras de la especie. Además, se registró un código que comprende el número de la planta, el número del cuadrante 20x20 metros y el número del subcuadrante 5x5 metros donde está ubicada dicha planta.

3.3. Mantenimiento de parcelas de restauración ecológica

Durante el periodo de octubre 2023 a marzo de 2024, a la parcela de restauración Km 2.5 Botija (B-PRE-001) se le realizó mantenimiento, el cual consistió en limpiar el remanente de hierba de la hidrosiembra alrededor de los plantones, además de la aplicación a los plantones de fertilizante químico granulado (12-24-12), y fertilizante orgánico a base de ácido húmico y fúlvico. Las plantas fueron fumigadas contra patógenos con fungicida e insecticidas. Debido al avance de la vegetación de la parcela Km 18 + 500 (B-PRE-003), esta no requiere de mantenimiento. Tampoco se realizó mantenimiento en la parcela MSA (B-PRE-009) ya que se informó que esta área sería utilizada. Debido al cese de operaciones, los trabajos de relleno en esta parcela fueron suspendidos.

3.4 Ensayos de restauración ecológica

Hasta la actualidad se han desarrollado diversas técnicas y estrategias con el fin de restablecer características específicas o generales de patrones o procesos de ecosistemas afectados que

logren la recuperación de los mismos (Castelli *et al*., 2015). Durante este periodo se realizó el monitoreo del ensayo de capa orgánica.



Figura 06. Mapa de ubicación de ensayo de capa orgánica en parcelas experimentales de DARE, zona suroeste del tajo de Botija.

3.4.1 Prueba con capa orgánica en DARE, zona suroeste, Tajo Botija (B-PRE-042)

El suelo cumple un papel fundamental en la rehabilitación, ya que de su calidad depende el restablecimiento de la vegetación. La reincorporación de la capa de suelo procura ventajas para rehabilitar las áreas degradadas por la minería a cielo abierto, ya que es un sustrato con mejores condiciones de porosidad, capacidad de almacenamiento de agua y de disponibilidad de nutrimentos y propágulos, que facilita la actividad microbiológica y el desarrollo vegetal en comparación al manto de rocas o sedimentos que queda expuesto con la explotación minera. (Hernández-Valencia, 2011).

En una sección de la parcela B-PRE-042 del DARE ubicado al suroeste del Tajo Botija, se establecieron 2 cuadrantes de 3x9 m, subdivididos en 10 subcuadrantes de 1m^2, cada subcuadrante con una separación de 1 m (ver figura 03). Cada cuadrante consiste en 5 subcuadrantes con capa orgánica y 5 subcuadrantes de control. Los subcuadrantes se marcaron

con tubos de PVC de 50 centímetros de alto. Para evitar que la escorrentía lavase la capa orgánica, se cercó cada subcuadrante de capa orgánica con malla sombra.

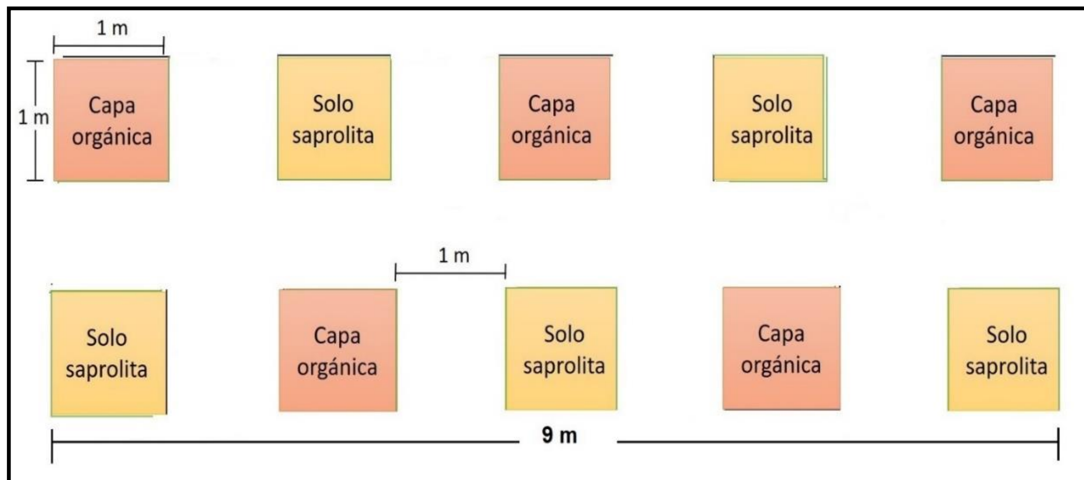


Figura 07. Esquema de cuadrante de capa orgánica de 3x9 metros.

En los subcuadrantes de 1x1 metros donde se colocó la capa orgánica, se retiraron 10 cm de saprolita. Posteriormente los subcuadrantes se rellenaron con materia orgánica de hojarasca y suelo proveniente del bosque adyacente a la parcela (Anexo 7.2).

El objetivo general de este ensayo fue evaluar la diversidad de especies vegetales derivadas de los propágulos presentes en la capa orgánica del área boscosa próxima a Botadero Sur, Tajo Botija. Los objetivos específicos fueron determinar la sobrevivencia de las especies identificadas y por último, identificar especies potenciales para la recuperación vegetal de áreas utilizadas por el proyecto Cobre Panamá.

El ensayo de capa orgánica se estableció en enero de 2023. Posteriormente se realizaron tres monitoreos en 2023, en los meses de marzo, mayo y septiembre. El cuarto y último monitoreo fue realizado en enero de 2024. En cada monitoreo se tomaron datos sobre las plantas observadas, procurando en lo posible de identificarlas hasta especie y contabilizar los individuos en todos los subcuadrantes, utilizando claves taxonómicas (Garwood, 2009), guías visuales (Field Museum - Plant ID Tools) y registros fotográficos de plántulas (Smithsonian Tropical Research Institute – www.panamabiota.org).

3.5. Registro de la Información y Análisis de datos

Parcelas de restauración ecológica:

Se registró la **mortalidad de plantones** e información de **crecimiento de las especies** de plantas en las parcelas de restauración y de las parcelas experimentales en la base de datos para su posterior análisis.

Se calculó el **porcentaje de supervivencia** de las plantas de cada parcela monitoreada como también por especie. El **análisis de la sobrevivencia y mortalidad** de cada especie nos permite identificar especies que pueden ser más aptas para ser utilizadas en las etapas tempranas de la restauración, como también identificar aquellas especies que requieran la implementación de técnicas adicionales para mejorar su desarrollo desde la etapa de germinación y mantenimiento de plantones en el vivero, y posteriormente en las parcelas de restauración.

Parcelas de restauración con vegetación arbórea

Se contabilizaron las **especies** (tanto arbóreas como aquellas de regeneración natural) e **individuos arbóreos**. En cuanto a estructura se calculó la **altura promedio** de todos los árboles monitoreados, como también calcular la totalidad del **área basal** de los individuos a partir de la medida de diámetro a la altura del pecho (DAP) mediante la siguiente fórmula**:**

$$AB = \frac{\pi}{4} \text{ x } (DAP)^2$$

Parcelas experimentales

Para evaluar el ensayo de capa orgánica, se registró la cantidad de **especies** e **individuos** observados en los subcuadrantes de saprolita y de capa orgánica. Posteriormente se compararon los resultados obtenidos en los cuatro monitoreos realizados.

Evaluación de especies nativas

El **desempeño de las especies sembradas** en parcelas se evaluó tomando en cuenta los siguientes datos de supervivencia, crecimiento de diámetro de cuello de raíz (mm) y crecimiento en altura (cm). Para evaluar el desempeño de las especies de plantas seleccionadas para la siembra en parcelas de restauración, se clasificaron en tres categorías según Elliott, Blakesley y Hardwick (2013):

- **Categoría 1:** las plantas que quedaron por debajo de la mayoría o de todos los estándares mínimos aceptables fueron consideradas como *especies no aceptables*. Estas especies no se descartarán del proyecto de restauración, pero se les dará un seguimiento más riguroso para lograr mejorar su rendimiento en las parcelas de restauración.
- **Categoría 2:** las plantas que excedieron algunos de los estándares mínimos aceptables, pero quedaron por debajo de otros, o quedaron por debajo de varios estándares por un margen pequeño, fueron consideradas *como especies marginales*. Estas especies se someterán a investigación para mejorar su rendimiento.
- **Categoría 3:** Las plantas que excedieron en gran proporción a la mayoría de todos los estándares mínimos fueron consideradas como *especies aceptables* y, por ende; adecuadas para utilizar en futuras plantaciones.

Los estándares aceptables para las plantas son: presentar una tasa de sobrevivencia de más del 50%, y que tanto la altura como el ancho de copa hayan excedido más del doble de su tamaño anterior luego de 12 meses de haberse plantado.

En este informe, se presenta la evaluación de las especies nativas sembradas en la parcela MSA, desde 2019 hasta 2022.

4. RESULTADOS

4.1 Monitoreo de parcelas de restauración ecológica

4.1.1 Parcela Km 2.5 Botija (Código B-PRE-001)

Desde el año 2015, se han realizado nueve (9) monitoreos anuales. En cada monitoreo se han registrado las plantas sembradas desde el año 2014 (año de establecimiento de esta parcela) y en el 2015 (año del levantamiento de la información del primer monitoreo de sobrevivencia), y posteriormente, aquellos individuos resembrados desde 2016 hasta 2023 que reemplazaron aquellos individuos muertos de plantas sembradas en años anteriores. Además, se han reportado las especies de regeneración natural (reclutas), que han surgido producto de la vegetación que rodea la parcela de restauración.

En esta parcela se cuenta con 2703 individuos, de los cuales 1949 individuos son plantados y 754 individuos son producto de la regeneración natural. Cabe mencionar, que para el año 2023, se registraron 99 individuos de regeneración natural (reclutas) y 473 plantones resembrados. Para este periodo se reporta un 75% de sobrevivencia de plantones sembrados y un 66% de sobrevivencia de plantas de regeneración natural (Figura 08).

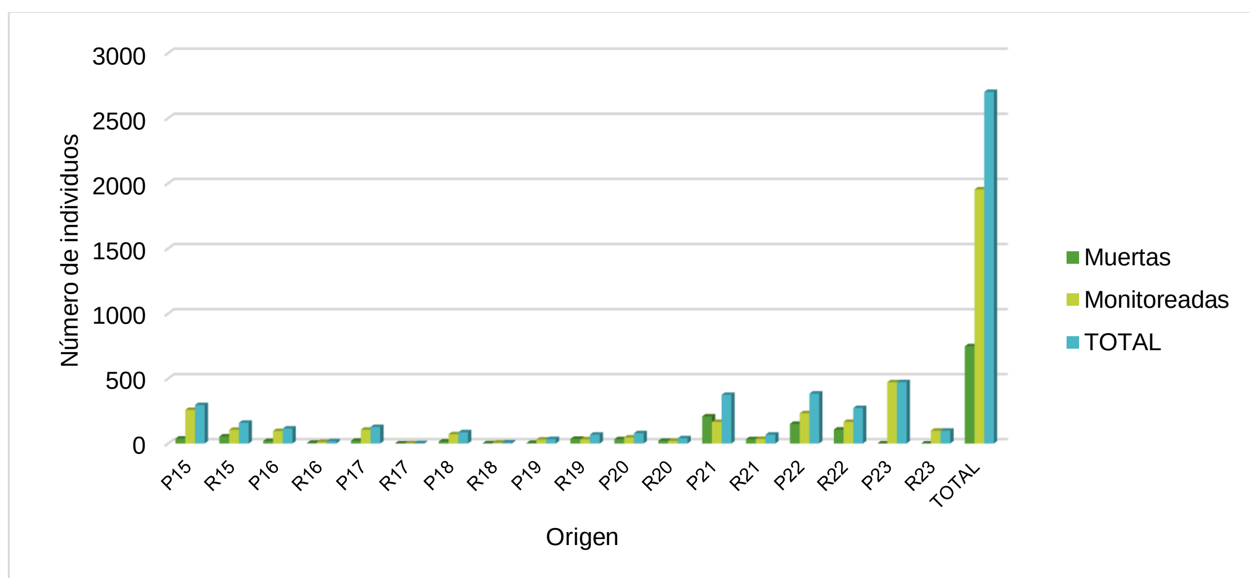


Figura 08. Número de individuos sobrevivientes contabilizados durante este periodo de monitoreo. En el gráfico se muestran por año de registro los individuos plantados (P), los de regeneración natural (R), los individuos muertos (barra verde), los individuos monitoreados (barra verde claro) y la totalidad (barra celeste).

De las especies nativas monitoreadas (Figura 09), se destacan las especies de sombra *Taralea oppositifolia* (harino), *Pterocarpus rohrii* (sangrillo), *Terminalia amazonia* (amarillo, criollo), *Inga thibaudiana* (Guaba de mono) ya que presentaron porcentajes de supervivencia superiores al 95%. Las especies *Abarema adenophora*, *Cespedesia spathulata* (membrillo macho), *Ochroma pyramidale* (balso), *Vochysia ferruginea* (pegle), *Vochysia guatemalensis* (pegle), *Trichospermum galeottii* (capulín), *Cecropia* sp. (guarumo), *Piper aduncum* (cordoncillo), *Bellucia pentamera* (guayabo conejo), *Isertia laevis* (margarito) presentaron porcentajes de supervivencia aceptables del 63% al 89%, mientras que las especies *Miconia* sp., *Psychotria allenii*, *Muntingia calabura* (periquito) y *Ochoterenaea colombiana* (caraño hediondo) presentaron porcentajes de sobrevivencia igual o inferior al 50%. Se registra para este monitoreo la persistencia de 55 especies nativas en la parcela Km 2.5 Botija.

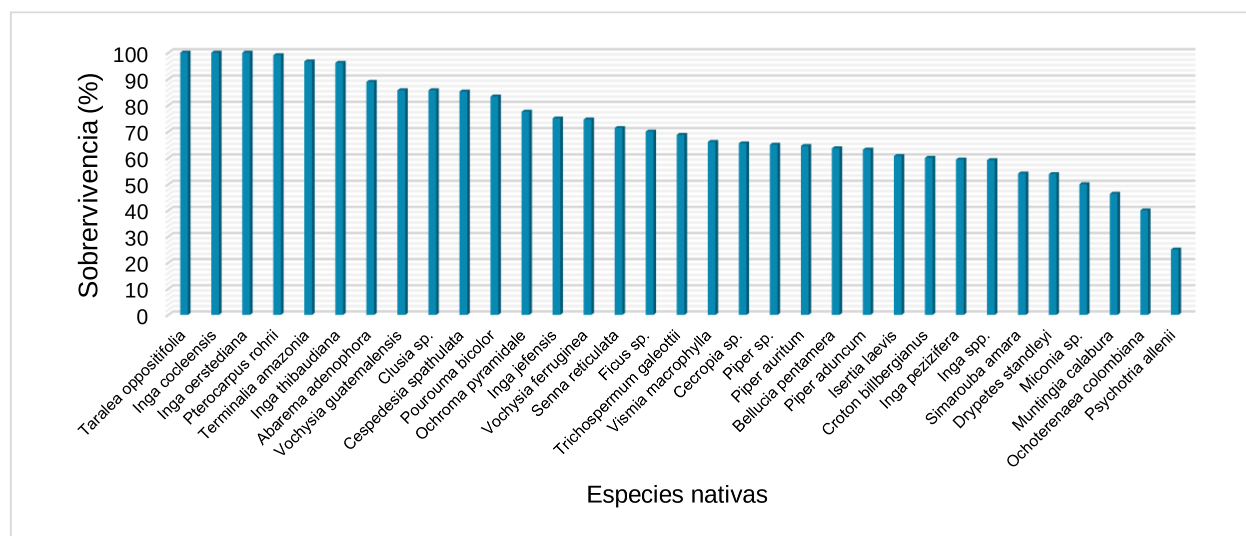


Figura 09. Sobrevivencia de especies nativas en Parcela Km 2.5 Botija (B-PRE-001).

En cuanto a las plantas de regeneración natural, para este periodo se incluyen en la lista las plántulas de *Osteophloeum platyspermum* (mollejo), de *Inga oerstediana* (guabo machete) y de *Senna reticulata* (laureño), como también especies herbáceas de los géneros *Ludwigia* y *Stachytarpheta*.

En cuanto a la fenología se registraron individuos con flores y/o frutos de *Bellucia pentamera*, *Inga* sp., *Ochroma pyramidale*, *Piper aduncum* y *Vismia macrophylla*.

4.1.2 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003)

Especies de interés (EdI) de flora reintroducidas

Se contabilizaron 78 plantas de las 10 especies de interés (EdI) de flora introducidas, de las cuales *Calathea gordonii, Eugenia arrhaphocalyx* y *Zamia skinneri* presentaron mayor cantidad de individuos, representando el 56% del total de EdI presentes en la parcela (Tabla 02). Se reportan además 12 individuos de regeneración natural: *Calathea gordonii* (9), *Trichodrymonia peltatifolia* (1) y *Zamia skinneri* (2).

Tabla 02. Especies de interés de Flora monitoreadas en parcela Km 18+500 (B-PRE-003)

Hábito	Familia	Especie de interés de Flora	Categoría UICN	Individuos	Valores promedio		
					Altura total (cm)	Diámetro de cuello de raíz (mm)	Ancho de copa (cm)
Árbol	Rhizophoraceae	*Cassipourea undulata*	EN	6	151.7	15.0	86.0
	Myrtaceae	*Eugenia arrhaphocalyx*	EN	12	145.9	15.4	101.1
	Euphorbiaceae	*Mabea tenorioi*	VU+	1	650.0	48.7	200.0
	Rubiaceae	*Palicourea roseocremea*	VU+	7	116.0	9.6	74.5
	Lauraceae	*Pleurothyrium triflorum*	EN	1	106.0	10.3	68.0
	Rubiaceae	*Posoqueria laevis*	EN	5	161.4	14.7	89.6
Arbusto	Arecaceae	*Synechanthus dasystachys*	CR	8	60.0	25.3	172.0
	Zamiaceae	*Zamia skinneri*	EN	11	72.4	85.3	127.0
Hierba	Marantaceae	*Calathea gordonii*	EN	21	44.3	12.5	68.8
	Gesneriaceae	*Trichodrymonia peltatifolia*	EN	6	24.3	6.9	67.0
			TOTAL	**78**			

En este periodo no se registró mortalidad de las plantas EdI. Por lo tanto, el porcentaje de supervivencia es del 100%.

Monitoreo de la vegetación (densidad, composición y crecimiento arbóreo)

En el primer monitoreo de vegetación realizado en febrero de 2024, se contabilizaron 211 individuos arbóreos (DAP ≥ 10 cm) distribuidos en 13 especies. De las especies identificadas, cuatro (4) pertenecen a la familia Fabaceae. Las especies más abundantes fueron *Inga thibaudiana* (guabo) con 74 individuos y *Ochroma pyramidale* (balso) con 52 individuos, representando el 60% de los árboles contabilizados. *Inga oerstediana* (guabo) fue el árbol que presentó mayor tamaño en altura y grosor, seguido de *Inga thibaudiana* y *Ochroma pyramidale*. Cabe destacar que *Ochoterenaea colombiana* presentó altura y área basal considerables, tomando en cuenta que sólo se contabilizó un individuo.

Tabla 03. Individuos arbóreos monitoreados en parcela Km 18+500

Familia	Especie	Nombre común	N° individuos	AR %	Altura promedio (m)	Área basal (m^2)
Fabaceae	*Inga thibaudiana*	Guabo	74	35	8.75	0.021
Malvaceae	*Ochroma pyramidale*	Balso	52	25	8.29	0.025
Combretaceae	*Terminalia amazonia*	Amarillo	23	11	8.19	0.014
Fabaceae	*Inga oerstediana*	Guabo	21	10	12.62	0.055
Urticaceae	*Cecropia peltata*	Guarumo	16	8	9.61	0.019
Rubiaceae	*Isertia laevis*	Margarito	11	5	7.43	0.014
Vochysiaceae	*Vochysia ferruginea*	Pegle	5	2	6.60	0.017
Fabaceae	*Inga pezizifera*	Guabo	3	1	5.33	0.014
Hypericaceae	*Vismia macrophylla*	Achiotillo	2	1	4.90	0.009
Anacardiaceae	*Ochoterenaea colombiana*	Caraño	1	0.5	10.00	0.051
Piperaceae	*Piper aduncum*	Hinojo	1	0.5	4.50	0.008
Fabaceae	*Taralea oppositifolia*	s.n.	1	0.5	5.60	0.008
Anacardiaceae	*Trattinickia aspera*	Caraño hediondo	1	0.5	7.00	0.008
		TOTAL	**211**	**100**	**8.78**	**0.263**

En cuanto a las características estructurales de la parcela Km 18 + 500, se obtuvo que el área monitoreada (0.70 ha) presenta un área basal total de 4.99 m^2/ha y una altura promedio de 8.80 metros. Se registraron individuos de 10 cm hasta 40 cm de DAP, de los cuales el 80% presentó un DAP de 10 a 19.9 cm.

En cuanto a la estratificación, se aprecian dos estratos, el herbáceo y el arbóreo. En el sitio se puede apreciar un dosel cerrado. Actualmente el 100% de la parcela presenta un dosel establecido (Figura 10).



Figura 10. Ortofoto (marzo 2024) de la parcela Km 18 + 500 (B-PRE-003).

En cuanto a las plantas de regeneración natural, se destacan las especies arbustivas y epífitas. Se registraron 15 especies de Melastomataceae, 11 especies de Araceae, 9 especies de Gesneriaceae, 9 especies de Rubiaceae, 7 especies de Orchidaceae, entre otras. Se observaron plántulas de especies arbóreas como *Virola sebifera*, *Otoba novogranatensis* y *Brosimum guianense*. En cuanto a las plantas epífitas registradas, destacan las del género *Columnea*, *Hawkesiophyton ulei*, bromelias, helechos y orquídeas.



Figura 11. Vista parcial de la parcela Km 18 + 500.



Figura 12. Epífita *Columnea dissimilis* sobre tronco de árbol en parcela Km 18 + 500.

En cuanto a la fenología, se observaron individuos de *Cecropia peltata*, *Inga oerstediana*, *Inga thibaudiana*, *Isertia laevis, Ochroma pyramidale y Piper aduncum* con flores y/o frutos, representando el 49% de los individuos monitoreados.

Varios estudios realizados en áreas degradadas por actividades mineras indican que éstos se recuperan muy lentamente al ser abandonados (Valois-Cuesta, 2016; Ramírez y Rangel, 2019; Chambi-Legoas *et al*., 2021), cuya colonización de especies propias del bosque puede verse limitada por la presencia de especies invasivas y las condiciones del suelo (Hapsari *et al*., 2020).

Es por ello la importancia de implementar estrategias activas de restauración para acelerar la recuperación de las áreas degradadas por minería (Valois-Cuesta, 2016; Román-Dañobeytia *et al*., 2015).

Monitoreo de la fauna silvestre

Del 21 de febrero al 31 de marzo, se obtuvieron 180 registros fotográficos mediante cámaras trampa, registrándose 3 especies de mamíferos y 1 especie de ave. Incluyendo los registros mediante observaciones directas, se registraron en total 12 especies: 6 de aves, 4 de mamíferos y 2 de reptiles.

De las 12 especies de fauna registradas en la parcela Km 18+500, se identificaron 4 especies con estados de conservación (Tabla 04). Según la lista de especies amenazadas del Ministerio de Ambiente (2016), 2 especies de aves (*Crax rubra* y *Trogon clathratus*) son consideradas en peligro (EN) y 2 especies de mamíferos (*Cuniculus paca* y *Leopardus pardalis*) son consideradas vulnerables (VU). Según la Lista Roja de la UICN, *Crax rubra* es considerada una especie vulnerable (VU).

Tabla 04. Especies de fauna registradas en la parcela Km 18+500 Camino Costero (B-PRE-003).

N°	Grupo	Especie	Miambiente 2016	Lista roja UICN	Nombre común	Tipo de registro
1	Ave	*Crax rubra*	EN	VU	Pavón grande	Cámaras Trampa
2	Ave	*Harpagus bidentatus*	-	-	Gavilán bidentado	Observación directa
3	Ave	*Myrmotherula axillaris*	-	-	Hormiguerito flanquialbo	Observación directa
4	Ave	*Psarocolius wagleri*	-	-	Oropendola cabecicastaña	Observación directa
5	Ave	*Tachyphonus delatrii*	-	-	Frutero de copete anaranjado	Observación directa
6	Ave	*Trogon clathratus*	EN	-	Trogón colibarrado	Observación directa
7	Mamífero	*Cuniculus paca*	VU	-	Conejo Pintado	Cámaras Trampa
8	Mamífero	*Dasyprocta punctata*	-	-	Ñeque	Cámaras Trampa
9	Mamífero	*Leopardus pardalis*	VU	-	Manigordo, Ocelote	Cámaras Trampa
10	Mamífero	*Marmosa robinsonii*	-	-	Zarigüeya de anteojos	Observación directa
11	Reptil	*Anolis biporcatus*	-	-	Lagartija arborícola	Observación directa
12	Reptil	*Leptophis ahaetulla*	-	-	Culebra perico verde	Observación directa

4.1.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)

En el monitoreo de este año se contabilizó un total de 1297 plantas, de las cuales se registró la sobrevivencia de 573 individuos. Desde 2019 se ha sembrado un total de 55 especies arbóreas, de las cuales 28 especies han persistido en la parcela. Con respecto a la regeneración natural (reclutas) en la parcela, se contabilizaron 68 individuos y 7 especies, de las cuales *Piper aduncum* fue la más abundante.

Al comparar los resultados de todos los monitoreos realizados, los plantones que presentaron mayor porcentaje de mortalidad fueron aquellas sembradas entre 2019 a 2021 (Figura 13). La mortalidad de las plantas refleja las condiciones ácidas del suelo arcilloso presente en la parcela de restauración. Cuando el pH se reduce por debajo de 5.5, los niveles de acidez son tan altos que nutrientes como el calcio, magnesio, molibdeno y fósforo pueden no estar tan disponibles para las plantas, las que sufrirán deficiencia nutricional. Además, algunos nutrientes y otros elementos del suelo llegan a volverse tóxicos para las plantas como el hierro, aluminio y manganeso (Toledo, 2016).

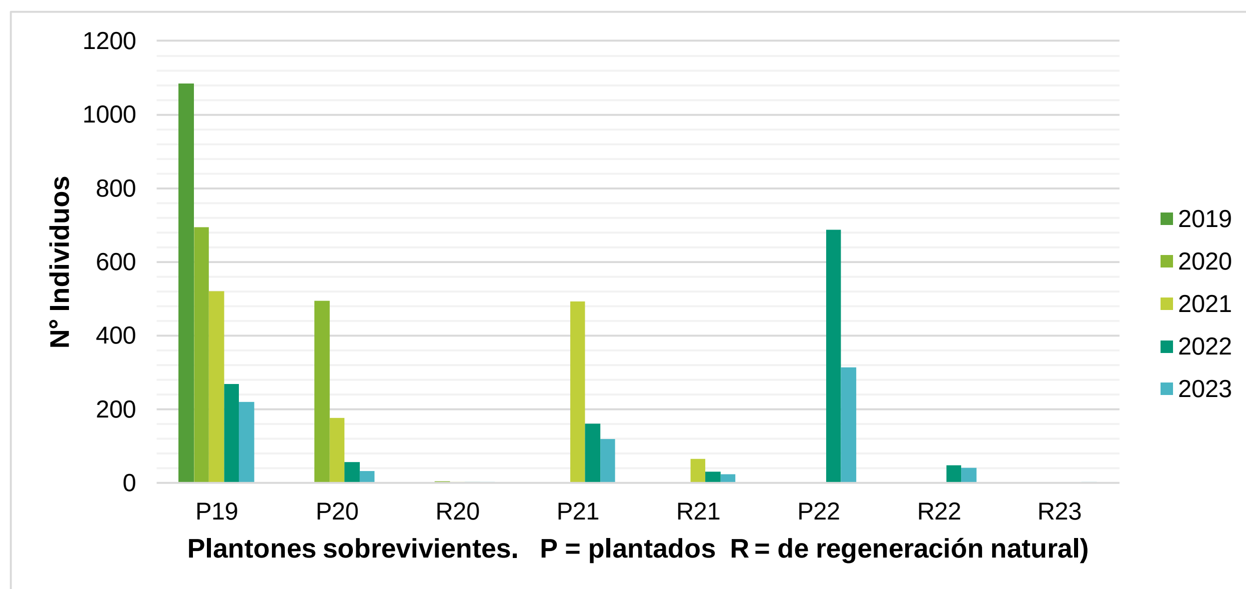


Figura 13. Número de individuos sobrevivientes por año de siembra contabilizados durante los monitoreos de 2019 a 2023.

En la figura 14 se muestra el porcentaje de sobrevivencia de las especies arbóreas sembradas en la parcela MSA desde 2019 hasta 2022. De las 55 especies sembradas, 9 especies han presentado porcentajes superiores al 50%.

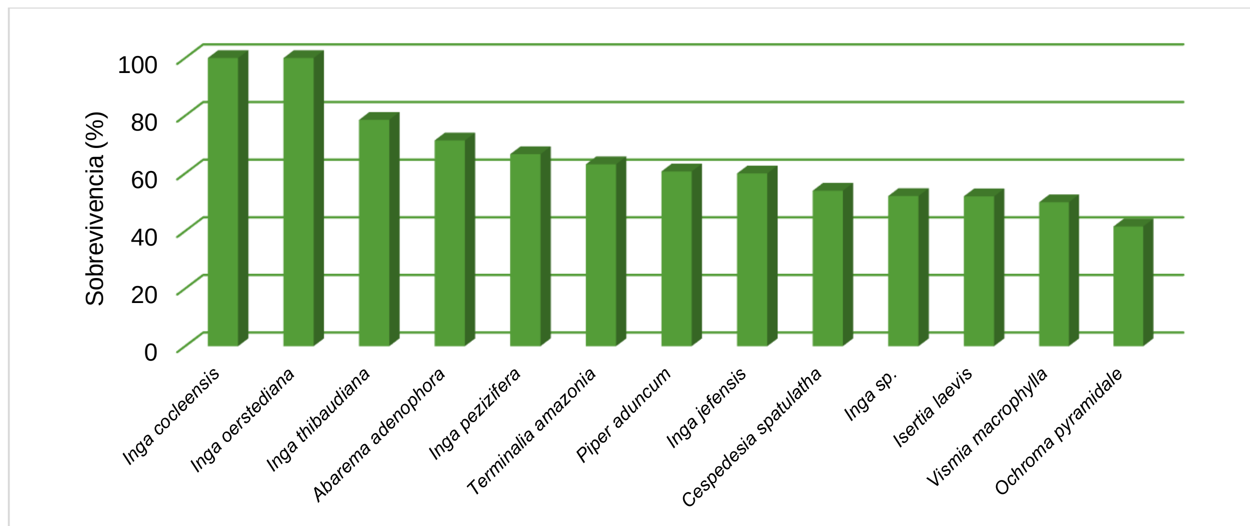


Figura 14. Sobrevivencia de especies arbóreas en la parcela de restauración MSA (2019-2023).

Entre las plantas nativas con porcentajes altos de sobrevivencia, se destacan las especies de la familia Fabaceae, especialmente del género *Inga* sp., *Terminalia amazonia*, *Cespedesia spathulata* y *Ochroma pyramidale.*

La gran mayoría de las especies arbóreas tolerantes a la sombra presentaron porcentajes de supervivencias inferiores al 40%: *Pouteria* sp., *Podocarpus guatemalensis*, *Drypetes standleyi*, *Ficus pertusa*, *Maquira guianensis*, *Tapirira guianensis*. Entre las especies pioneras con porcentajes de sobrevivencia inferiores al 50% se identificaron *Muntingia calabura*, *Miconia benthamiana*, *Senna reticulata* y *Bellucia pentamera*. Muntingia calabura, una especie pionera exitosa en áreas abiertas dentro del área del proyecto, presentó un porcentaje de sobrevivencia considerablemente bajo (27%).

En cuanto a la regeneración natural, se registraron para este periodo 68 individuos y 7 especies, de las cuales se destaca *Piper aduncum*. Aunque la cantidad de plantones producto de la regeneración natural no son significativas, los datos sugieren que estas plantas tienen mayor porcentaje de éxito que aquellas que fueron sembradas. En cuanto a las especies herbáceas se

registraron *Spathoglottis plicata* (orquídea morada), clavel de laguna (*Ludwigia octovalvis*), cola de venado (*Schizachyrium condensatum*) y helecho plateado (*Pityrogramma calomelanos)*.

4.2 Prueba de capa orgánica en parcela del DARE, zona suroeste, Tajo Botija (B-PRE-042)

La translocación de la tierra vegetal transfiere sustrato, materia orgánica, microorganismos del suelo, mesofauna del suelo, fragmentos de plantas y semillas a un lugar degradado, lo que aumenta el potencial de éxito de la restauración de la vegetación (Ferreira y Vieira, 2017). En el primer monitoreo de los dos cuadrantes establecidos, se identificaron en total 36 especies distribuidas en 343 individuos. Al final de esta prueba se registraron 35 especies y 299 individuos (exceptuando *Brachiaria decumbens* y *Lycopodiella cernua*).



Figura 15. A. Subcuadrante de control (saprolita) monitoreado en marzo de 2023. **B.** Subcuadrante de capa orgánica monitoreado en marzo de 2023. **C.** Subcuadrante de control (saprolita) monitoreado en enero de 2024. **D.** Subcuadrante de capa orgánica monitoreado en enero de 2024.

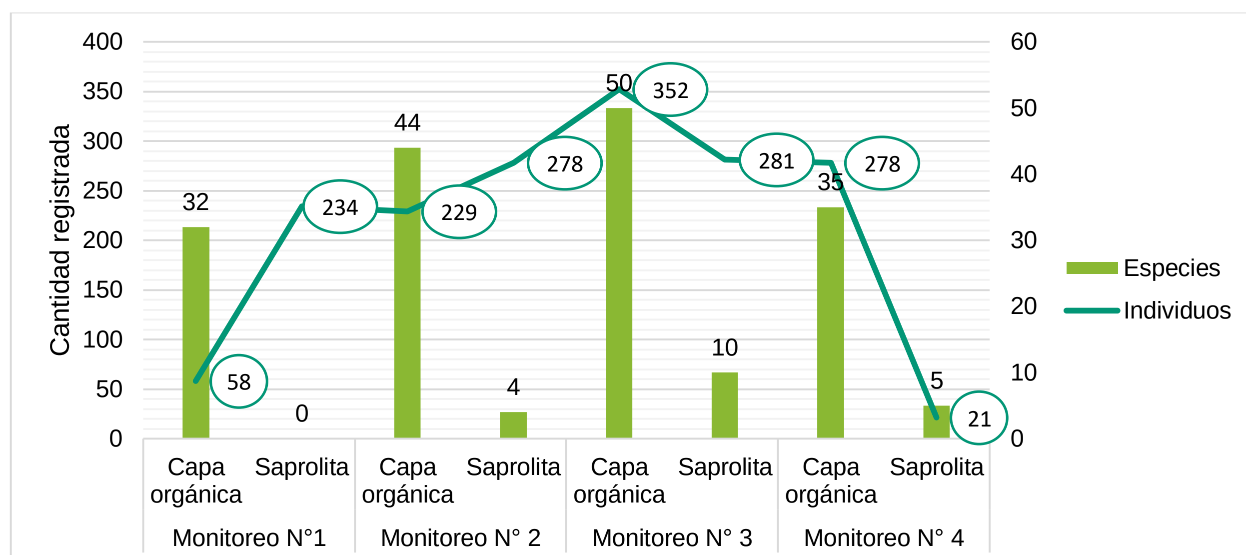


Figura 16. Especies e individuos vegetales monitoreados en subcuadrantes de capa orgánica y de saprolita (control) en monitoreos realizados de 2023 a 2024.

Como se observa en la figura 16, los subcuadrantes de capa orgánica presentaron mayor diversidad vegetal que los subcuadrantes de control (saprolita), ya que éstos fueron colonizados principalmente por *Brachiaria decumbens* y *Lycopodiella cernua*. Las especies más abundantes fueron principalmente herbáceas: *Fimbristilys littoralis* (Cyperaceae) con 41 individuos, seguido de *Schizachyrium condensatum* (Poaceae) con 31 individuos. *Doliocarpus dentatus* (bejuco candela) fue otra de las especies vegetales destacadas con 31 individuos registrados, mientras que Cecropia obtusifolia fue la única especie arbórea con mayor cantidad de individuos.

Cabe recalcar que en el cuarto monitoreo realizado, se observó una disminución de especies registradas al comparar con el monitoreo anterior. Esto pudo deberse a las condiciones de estrés presentes en el área, las cuales afectan en la sobrevivencia de especies tolerantes a la sombra.

En el estudio realizado en un área impactada por minería en un bosque seco de Brazil por Ferreira y Vieira (2017) se comprobó que la translocación de capa orgánica ayudó a la propagación de muchas especies de árboles y lianas, debido al banco de yemas activo en la capa superior del suelo transferido, que consiste en un gran número de fragmentos de raíces.

4.3 Evaluación de especies nativas

El análisis de evaluación de las especies nativas (Elliott *et al*. 2013) nos permite determinar el desempeño de una especie después de un año de ser plantadas en la parcela de restauración. La evaluación determinó que 3 especies de fabáceas *Abarema adenophora*, *Inga oerstediana* e *Inga thibaudiana* presentaron un buen desempeño en la parcela (Tabla 05). Las especies pioneras *Cespedesia spathulata*, *Ochroma pyramidale*, a pesar de presentar buen crecimiento en otras parcelas de restauración, presentaron un porcentaje de supervivencia bajo en MSA. Las especies *Inga pezizifera* y *Terminalia amazonia* mostraron una baja tasa de crecimiento a pesar de marcar un porcentaje alto de sobrevivencia en la parcela. Por otra parte, las especies *Ochoterenaea colombiana* y *Muntingia calabura* fueron evaluadas como no aceptables.

Tabla 05. Evaluación anual de especies nativas resembradas en la parcela de restauración MSA

Especie	Tipo	% Sobrevivencia	Tasa de crecimiento promedio anual			Categoría	Acción
			Altura (cm)	Diámetro de cuello de raíz (mm)	Ancho de copa (cm)		
Abarema adenophora	*Sombra*	71	38.00	11.28	10.25	3	Aceptable
Cespedesia spatulatha	*Pionera*	54	16.68	2.80	2.48	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Inga oerstediana	*Sombra*	100	78.00	19.22	87.50	3	Aceptable
Inga pezizifera	*Sombra*	67	24.75	9.69	24.25	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Inga thibaudiana	*Sombra*	79	48.56	12.78	64.61	3	Aceptable
Ochoterenaea colombiana	*Pionera*	10	8.00	3.98	1.50	1	No aceptable
Ochroma pyramidale	*Pionera*	42	20.74	6.52	2.50	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Taralea oppositifolia	*Sombra*	37	35.50	11.85	47.75	2	Investigar para mejorar el crecimiento
Terminalia amazonia	*Sombra*	63	8.33	2.73	0.50	2	Investigar para mejorar el crecimiento

Gran parte del éxito de las plantas de la familia Fabaceae se debe a su capacidad de establecer relaciones simbióticas con microorganismos de la familia Rhizobiaceae y al nitrógeno fijado que estas bacterias les pueden proveer (Bedout-Mora *et al*., 2022). De hecho, las especies del género Inga son consideradas regeneradoras pioneras de la fertilidad en suelos degradados (Hands, 1998). El guabo de bejuco (Inga oerstediana) aporta una sombra densa debido al gran tamaño de sus hojas, contribuyendo a formar en el terreno con las hojas caídas una gruesa capa de mulch (acolchado) de lenta descomposición que es muy efectiva inhibiendo el crecimiento de maleza (Pennington, 1997). *Abarema adenophora* es una especie arbórea utilizada para protección de cauces fluviales, recuperación y enriquecimiento de suelos en Colombia (Pinzón y Nieto, 2018).

Con respecto a las especies nativas de crecimiento rápido, *Cespedesia spathulata* ha sido reportada como una especie rústica en áreas degradadas por actividades mineras (Bozzano *et al*., 2014), como también empleada para estabilización de cauces fluviales (Pinzón y Nieto, 2018). El balso (*Ochroma pyramidale*) es una especie que puede tolerar suelos con pH de 5 (Conservation International et al., 2022). *Terminalia amazonia* (amarillo, criollo) es una especie arbórea emergente que se destaca por su buen desempeño en suelos con acidez moderada a alta y textura arcillosa (Hall y Ashton, 2016).

Ochoterenaea colombiana es una especie arbórea abundante de regeneración natural en Ecuador (Murillo, 2021), común en bosques secundarios y en áreas de regeneración en las provincias de Coclé, Colón y Panamá (Pérez y Condit, 2024). *Muntingia calabura* es una especie que prefiere un clima seco y suelos fértiles, cuyo crecimiento en clima húmedo con suelo pobre se reduce drásticamente en un periodo de 2 a 4 años (Hall y Ashton, 2016). A las especies nativas con bajo desempeño, se les realizarán pruebas en el vivero con el objetivo de mejorar su rendimiento en las parcelas. Esto se puede lograr aplicando técnicas orientadas al: a) mejoramiento del sustrato; b) mejoramiento en la dosificación de fertilizantes, nematicidas y fungicidas; c) aumento del pH del sustrato preparado en vivero como del sustrato en las parcelas mediante aplicación de hidróxido de calcio para facilitar la absorción de los nutrientes en las plantas; d) intensificar, tanto en el vivero como en la parcela, las técnicas de desarraigue de malezas (Elliott *et al*., 2013), entre otras. Se continuará con la revisión de literatura científica sobre otras especies nativas en el proyecto y recolectar semillas y plántulas de estas especies nativas que aún no han sido probadas, para las actividades de restauración de futuras parcelas.

5. CONCLUSIONES

- En la parcela Km 2.5 Botija (B-PRE-001) se ha observado la persistencia de diversas especies tolerantes a la sombra y nuevas adiciones de especies de regeneración natural.

- La parcela Km 18+500 (B-PRE-003) presenta una vegetación estructuralmente similar a un bosque secundario joven de 7 a 10 años, correspondiente al tiempo de establecimiento de la parcela; indicativo de que se está dando el proceso de sucesión vegetal en dicha parcela. Como evidencia de este proceso, se reporta el monitoreo de 12 especies de fauna silvestre. Las plantas de interés (EdI) sembradas en esta parcela han presentado un porcentaje de sobrevivencia de 100%, lo que indica que esta parcela mantiene las condiciones de microclima necesarias que aseguren la supervivencia de estas especies.

- Los resultados obtenidos en la parcela MSA sugieren que las especies nativas *Inga* sp. y *Ochroma pyramidale* han sido capaces de adaptarse a la acidez extrema del suelo; mientras que *Cespedesia spathulata* y *Piper aduncum* han presentado una capacidad de regeneración natural.

- En el ensayo de restauración de capa orgánica (B-PRE-042), se identificaron diversas especies vegetales. Sin embargo, solo sobrevivirán aquellas que resistan condiciones de estrés.

- La evaluación de crecimiento de especies nativas sembradas en la parcela MSA permitió la identificación de *Ochoterenaea colombiana* y *Muntingia calabura* como aquellas que requieren de ensayos para mejorar su desempeño en las parcelas de restauración.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Barrie, F. R., Ramos, C., Ortiz, O. O., Vergara-Pérez, I., & McPherson, G. (2016). Five new species of Eugenia (Myrtaceae) from Panama. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature*, *24*(4), 333-342.

2. Bedout-Mora, D., Solis-Ramos, L. Y., Valverde-Barrantes, O., & Rojas-Jiménez, K. (2022). Capacidad de nodulación en especies forestales leguminosas (Fabaceae) según su filogenia y características morfológicas. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, *19*(45), 1-8.

3. Bozzano, M., Jalonen, R., Thomas, E., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Sándor, B., Smith, P. y Loo, J. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, *333*, 66-75.

4. Castelli, K. R., Barreto, M. G., Francesconi, W., Valle, L. D., Mondelli, G., Abilio, F. M., & da Silva, A. M. 2015. Analysis of effectiveness of three forest interventionist techniques and proposal of a new and integrated model of forest restoration. *Environmental technology*, *36*(21), 2712-2723.

5. Chambi-Legoas, R., Ortega Rodriguez, D. R., Figueiredo, F. D. M. D., Pena Valdeiglesias, J., Zevallos Pollito, P. A., Marcelo-Peña, J. L., & Rother, D. C. (2021). Natural regeneration after gold mining in the Peruvian Amazon: Implications for restoration of tropical forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, *4*, 594627.

6. Conservation International, Smithsonian Migratory Bird Center y World Coffee Research. El Catálogo de Sombra. URL: https://www.shadecoffee.org/es

7. CTF. 2018. Trees, Shrubs, and Palms of Panama. http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.php. Consultado en diciembre, 2018.

8. Elliott, S. D., D. Blakesley y K. Hardwick, 2013. Restauración de Bosques Tropicales: un manual práctico. Royal Botanic Gardens, Kew; 344 pp.

9. Ferreira, M. C., & Vieira, D. L. M. (2017). Topsoil for restoration: Resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest regeneration. *Ecological engineering*, *103*, 1-12.

10. Flora Mesoamericana. 2018. http://www.tropicos.org/Project/FM. (Accesado en diciembre 2018).
11. Missouri Botanical Graden-Base de Datos MPSA. 2018. http://www.tropicos.org/Project/MPSA. (Accesado en diciembre 2018).

12. Garwood, N. (2009). Seedlings of Barro Colorado Island and the Neotropics. Cornell University Press, New York, U.S.A. 656 pp.

13. Gentry, A.H. 1993. A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwesdt South America (Colombia, Ecuador, Peru): With Supplementary Notes on Herbaceous Taxa. Chicago: The University of Chicago Press; 895 pp.

14. Hands, M. R. (1998). The uses of Inga in the acid soils of the Rainforest zone: Alley-cropping sustainability and soil-regeneration. *The Genus Inga: Utilization. Kew: The Royal Botanic Gardens*, 53-86.

15. Hapsari, L., Trimanto, T., & Budiharta, S. (2020). Spontaneous plant recolonization on reclaimed post-coal mining sites in East Kalimantan, Indonesia: Native versus alien and succession progress. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *21*(5).

16. Guariguata, M. R. y R. Ostertag, 2002. Sucesión secundaria. En: Guariguata, M. R. y G. Kattán (Editores). Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales. Cartago: Libro Universitario Regional; 691 pp.

17. Hall, J., & Ashton, M. (2016). *Guide to early growth and survival in plantations of 64 tree species native to Panama and the Neotropics*. Smithsonian Tropical Research Institute. Balboa, Panamá. 173 pp.

18. Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2007. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Haloragaceae-Phytolaccaceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 932 pp.

19. Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2010. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Clusiceae-Gunneraceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 970 pp.

20. Hernández-Valencia, I., Pérez, M., & Lisena, M. (2011). Calidad del suelo en zonas rehabilitadas de una mina de bauxita. La Restauración Ecológica en Venezuela: Fundamentos y Experiencias. Ediciones IVIC. Caracas, Venezuela, 165-175.

21. Murillo Quiroz, L. (2021). Análisis de la regeneración natural de las especies forestales del Jardín Botánico de la Universidad Técnica de Manabí. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Tesis de grado. 53 pp.

22. Nepstad, D. C., Uhl, C., C. A. Pereira y J. M. Cardoso da Silva, 1996. A Comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of Eastern Amazonia. Oikos 76:25-39.

23. Pennington, T.D. (1997). The Genus Inga: Botany. Richmond, London: Royal Botanic Gardens Kew. 854 pp.

24. Peña-Claros, M. (2003). Changes in forest structure and species composition during secondary forest succession in the Bolivian Amazon1. *Biotropica*, *35*(4), 450-461.

25. Pérez, R. 2008. Árboles de los Bosques del Canal de Panamá. Panamá: Boski S.A.; 466 pp.

26. Pérez, R. and Condit, R. Tree Atlas of Panama. URL: http://ctfs.si.edu/PanamaAtlas/maintreeatlas.php. Consultado 20/5/2024.

27. Pinzón, J. y Niño, L. Proyección florística para la restauración vegetal de la cabecera del nacimiento de la quebrada “Las Pilanderas”- Barrio La Cumbre- Floridablanca, mediante el

sistema de zonas de vida Holdridge. Memorias II Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería - CICI 2018.

28. Ramírez, G., & Rangel-Ch, J. O. Sucesión vegetal en áreas de minería a cielo abierto en el bosque pluvial tropical del departamento del Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *43*(169), 673-688.

29. Román-Dañobeytia, F., Huayllani, M., Michi, A., Ibarra, F., Loayza-Muro, R., Vázquez, T., ... & García, M. (2015). Reforestation with four native tree species after abandoned gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, *85*, 39-46.

30. SER 2004. Principios sobre SER International sobre la restauración ecológica SER (Society for Ecological Restoration International – Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica). Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas (Versión 2: octubre de 2004).

31. Saldarriaga, J. G., West, D. C., Tharp, M. L., & Uhl, C. (1988). Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *The Journal of Ecology*, 938-958.

32. Toledo, M. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Tegucigalpa, Honduras. 152 pp.

33. Valois Cuesta, H. (2016). Sucesión primaria y ecología de la revegetación de selvas degradadas por minería en el Chocó, Colombia: bases para su restauración ecológica. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. 238 pp.

34. Warwood, N.C. 1999. Seedlings of Barro Colorado Island and the Neotropic. London: Cornell University Press; 645 pp.

35. Woodson, R.E. y R.W. Schery. 1980. Flora de Panamá. St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 7396 pp.

7. ANEXOS

Anexo 7.1. Registro Fotográfico

Actividades realizadas en parcela Km 2.5 Botija (código B-PRE-001)





A. Limpieza (remoción de maleza) en subcuadrantes





B. Monitoreo anual de plantas

Actividades realizadas en parcela Km 18+500 Camino Costero (código B-PRE-003)







A. Monitoreo de plantas EdI.







B. Monitoreo de vegetación (arbórea y regeneración natural)

Actividades realizadas en parcela MSA (código B-PRE-009)

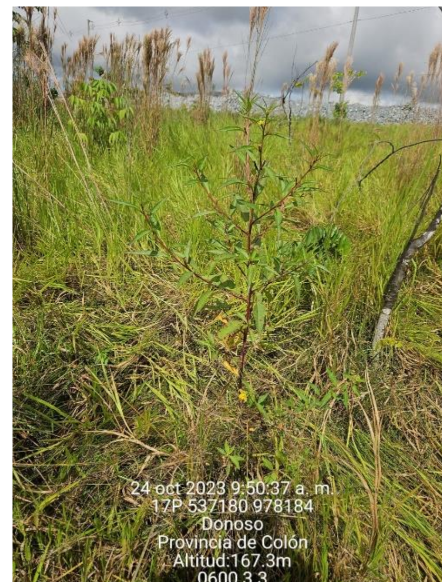




A. Medición de altura de plantas.

B. Búsqueda y monitoreo de plantas.





C. Piper aduncum con flores.

D. Especie herbácea de regeneración natural: Ludwigia sp.

Actividades de restauración



A. Plantas de Piper aduncum colectadas para restauración



B. Búsqueda de suelo para preparación de sustrato para plantas.



C. Proceso de siembra de plantones para restauración



D. Monitoreo de plantas para restauración

Ensayo con capa orgánica en DARE, zona suroeste, Tajo Botija



A. Identificación y registro de individuos observados



B. Conteo de individuos identificados



C. Subcuadrante de control (saprolita)



D. Subcuadrante de capa orgánica

Diversidad vegetal en Parcela Km 18+500



Árboles
- 43 especies
- 13 especies 10 cm dap



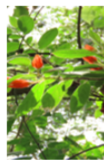
Helecho arbóreo
- 1 especie: *Alsophila* sp.



Arbustos
- 21 especies



Lianas
- 15 especies



Hierbas
- 45 especies
- Mayoría epífitas



Saprófita
- 1 especie: *Voyria tenella*

Especies arbóreas con mayor desempeño (altura y DAP) en Parcela Km 18+500



Inga oerstediana (Guabo)
12.62 metros
25 cm dap



Ochoterenaea colombiana (Caraño, Cedrillo)
10 metros
25 cm dap



Cecropia peltata (Guarumo)
9.6 metros
14.9 cm dap



Inga thibaudiana (Guabo)
8.7 metros
15.8 cm dap



Ochroma pyramidale (Balso)
8.3 metros
17.4 cm dap



Terminalia amazonia (amarillo, criollo)
8.2 metros
13.2 cm dap

Especies de fauna silvestre registradas en Parcela Km 18+500 Camino Costero (B-PRE-003).



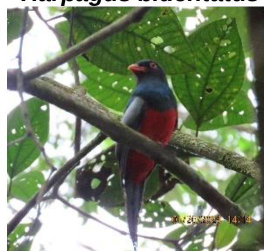
Pavón grande
Crax rubra


Gavilán bidentado
Harpagus bidentatus



Hormiguerito flanquialbo
Myrmotherula axillaris


Oropéndola cabecicastaña
Psarocolius wagleri


Trogón colibarrado
Trogon clathratus


Zarigüeya de anteojos
Marmosa robinsonii



Manigordo, ocelote
Leopardus pardalis


Conejo pintado
Cuniculus paca


Ñeque
Dasyprocta punctata



Culebra perico verde
Leptophis ahaetulla



Lagartija arborícola
Anolis frenatus

Anexo 2. Localización de parcelas de restauración incluidas en este informe.

Parcela Km 2.5 Botija (B-PRE-001)

2017 **2023**



Parcela Km 18. Costal Road (B-PRE-003)

2015 **2024**



Parcela MSA (B-PRE-009)

2020 **2023**



Parcela experimental de Tajo Botija (B-PRE-042)

2021 **2024**

